

добных прогнозов можно давать скорее качественные нежели количественные прогнозы о долгосрочных тенденциях изменения анализируемого ВР.

#### **Литература**

1. Главные компоненты временных рядов. [Текст] / Под редакцией Д.Л.Данилова и А.А.Жиглявского // СПб.: Пресском, 2007. –308 с.
2. Сызранцев В.Н. Расчет прочностной надежности изделий на основе непараметрической статистики. [Текст] / В. Н. Сызранцев, Я. П. Невелев, С. Л. Голофаст // Новосибирск: Наука, 2008. –218 с.

### **ВОПРОСЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ О ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ИЗ СИГНАЛА, ПРИНИМАЕМОГО РАДИОВЫСОТОМЕРНЫМИ СИСТЕМАМИ (РВС) С ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ (ИМ)**

*А.К. Сорокин, В.Г. Важеннин*  
УрФУ, РЭИС, [atomdistortion@mail.ru](mailto:atomdistortion@mail.ru)

### **THE QUESTIONS OF EXTRACTION UNDERLYING SURFACE INFORMATION FROM SIGNAL OF RADIO ALTIMETER SYSTEM (RAS) WITH PULSE MODULATION (PM)**

*A.K. Sorokin, V.G. Vazhenin*

Традиционная задача КЭНС [1] в настоящее время переживает новый виток развития благодаря возросшим вычислительным мощностям бортовых вычислителей. С другой стороны возрастают требования не только по точности работы существующих систем, но также и к функционалу бортовой аппаратуры, которой придаются новые возможности, такие как навигация на базе радиовысотомерной системы. Малоисследованной задачей радионавигации является определение устойчивых ориентиров на подстилающей поверхности, в том числе и системами с импульсной модуляцией. Задачей доклада является приведение в единую систему накопленного опыта по данной тематике.

На первом этапе классифицируем типы ориентиров, пригодных для радионавигации.

Однородной поверхностью назовем такую, которая имеет устойчивые статистические параметры, в том числе среднюю ДОР [3], дисперсию, коэффициент корреляции.

Точечные объекты, характеризуются наличием небольших отражающих площадок на поверхности, обладающих высоким коэффициентом отражения в узком диапазоне углов облучения. В сантиметровом диапазоне волн к таковым объектам можно отнести объекты техногенного происхождения, а также объекты природного происхождения с высоким коэффициентом отражения и малыми линейными размерами, сравнимыми с длиной излучаемой волны. Такие объекты зачастую не являются устойчивыми, могут менять свое расположение и быть очень чувствительными к углам облучения, что приводит к невозможности интерпретации местоположения ЛА на ЭИ [1].

Граница раздела сред, характеризуется протяженным в одном направлении участком особых свойств поверхности. Разделим границы раздела сред на два типа: резкая смена поверхности (характерна для техногенных объектов, таких как искусственные резервуары и промышленные объекты), а также постепенная смена поверхности, характерная для природных объектов, таких как лес-луг, вода-суша. Плавная смена поверхности предполагает наличия третьего типа поверхности, который может существенно отличаться по свойствам от остальных двух поверхностей, примером может являться песчаная коса, как граница между сушей и водой. Граница раздела является относительно устойчивым объектом для навигации. Преимуществом такого объекта является возможность отслеживания изменения статистических параметров подстилающей поверхности, что позволяет по накопленной выборке выделить такие объекты. Зачастую такую границу раздела можно аппроксимировать прямой,

либо короткой цепочкой ломаных линий [5]. Кроме того, объекты можно выделять уже на этапе формирования ЭИ по географическим картам [5].

Линейные ориентиры являются узкими протяженными объектами, характеризующимися отличным от остальной поверхности коэффициентом отражения. По своей природе ЛО являются логическим продолжением объекта типа граница раздела и точечных объектов. Чаще всего ЛО являются объектами техногенного происхождения, такими как автомобильная дорога, железная дорога, дамба и другие промышленные объекты, но также встречаются ЛО и природного происхождения, такие как узкие реки. Такие объекты являются устойчивыми и могут быть выделены еще на этапе подготовки полетного задания. Использование такого типа объектов позволяет существенно расширить информационное поле. Экспертные оценки показывают, что использование ЛО повысит информативность поверхности в 8-10 раз [6]. Кроме того ЛО занимают мало места в бортовой памяти ЛА, что позволяет использовать быстрые алгоритмы поиска местоположения ЛА методами минимизации.

Площадные объекты, являются наиболее информативными пространственно расположенными объектами. Площадные объекты делятся на природные и, что более важно, техногенные. Методы классификации техногенных объектов относятся к задаче распознавания образов. В оптических системах являются наиболее широко распространенными по причине высокой разрешающей способности последних. В рамках радионавигационной системы разработка подобных методов, как показывает анализ [4], является перспективной.

Во второй части доклада рассмотрим доступные способы выделения информации о присутствующих неоднородностях.

Оценка мощности отраженного сигнала. Метод является простейшим и часто используется лишь как вспомогательный при обработке. Принцип работы метода – выделение объектов, обладающих большой отраженной мощностью. Пригоден для определения как точечных объектов, так и для ЛО [6]. Метод не делает различия между типами неоднородностей.

Оценка статистических характеристик принимаемого сигнала, отраженного от подстилающей поверхности [1]. К статистическим характеристикам отнесем дисперсию рельефа, величину ДОР поверхности, коэффициент отражения и коэффициент корреляции поверхности, а также отношение переднего фронта импульса к заднему. Последний параметр обусловлен тем, что длительность переднего фронта импульса определяется прежде всего длительностью излучаемого сигнала, а длительность заднего фронта – отражающими свойствами подстилающей поверхности. Метод позволяет выделять объекты типа границы раздела сред. Недостатком метода является необходимость длительного накопления данных для формирования статистических признаков. Статистическая оценка не позволяет учитывать узкие объекты на поверхности, что приводит к малому числу ориентиров, пригодных для навигации.

Формирование дальностного портрета при анализе тонкой структуры импульса. По сути, метод является развитием метода оценки мощности отраженного сигнала. Принцип работы метода заключен в разбиении отдельных импульсов на временные интервалы и усредненной оценке отражаемой мощности сигнала в дискретный момент времени. Проводимые исследования показали, возможность повышения разрешения сигнала методами корреляции при межпериодном накоплении.

Частотное разрешение сигнала. Принцип частотного разрешения сигнала основан на анализе спектра отраженного сигнала. Явление расширения спектра сигнала при движении ЛА относительно подстилающей поверхности называется доплеровским эффектом [2]. Доплеровский эффект можно наблюдать как изменение фазы отраженного сигнала от локальных отражателей, именуемых в литературе фацетами [7]. В пределах одного импульса эффект является крайне слабым, поэтому для получения хороших разрешающих свойств требуется большой временной интервал, а также высокая частота повторения импульсов. Проведенные исследования показали, что интервал равен времени пролета половины пятна облучения. Это позволяет получить хорошее усреднение. Несмотря на перечисленные трудности, метод является привлекательным, поскольку применение приведет к высокому разрешению по частоте

те, а значит и высокому пространственному разрешению. Исследования [8] показали, что на процесс выделения ориентиров оказывают влияния два фактора: время накопления и скорость изменения мощности отраженного сигнала. Комбинация этих двух факторов позволяет определить правило наилучшего угла пролета ЛО:  $10\text{--}30^\circ$  между ЛО и линией движения ЛА.

Комбинацию дальностного портрета и частотного разрешения в литературе именуют радиовидением [4]. Данная система внедрялась в системы бокового обзора, но не является распространенной в РВС. Причины сложности использования радиовидения в системах РВС являются низкое разрешение подобных систем и недостаточная точность существующих алгоритмов обработки сигналов, забитых шумами самой РВС с ИМ. Развитие вычислительных возможностей бортовой аппаратуры, а также использование малых длительностей сигналов, позволяет сегодня делать прогнозы на повышение разрешающей способности РВС с ИМ, пригодных для радионавигации. В частности, разрабатываемые методы построения яркостных карт [8] позволяют получать одновременно высокое разрешение по частоте и дальности. Решение задачи построения карты яркости позволит выделять не только ЛО, но также и площадные объекты.

Таким образом, в докладе классифицируются ориентиры, пригодные для задачи радионавигации РВС с ИМ. Тезисно приводятся разработанные методы работы с указанными типами ориентиров. Кроме того, определяется направление дальнейшей работы по ориентирам в рамках задачи радионавигации.

### **Литература**

1. Белоглазов И. Н. Корреляционно-экстремальные системы / И. Н. Белоглазов, В. П. Тарасенко. М.: Сов. радио, 1974. 392 с.
2. Колчинский В. Е. Автономные доплеровские устройства и системы навигации летательных аппаратов / В. Е. Колчинский, И. А. Мандуровский, М. И. Константиновский; под ред. Колчинского В. Е. М.: Сов. радио, 1975. 432 с.
3. Ulaby F. T., Crop classification using airborne radar and Landsatdata / F. T. Ulaby, R. Y. Li, K. S. Shunmugan // IEEE Trans.: Vol. GE -20 (Geoscience and Remote Sensing). 1982. No.1. P.42–50.
4. Кондратенков Г. С. Радиовидение. Радиолокационные системы дистанционного зондирования Земли / Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю. М.: Радиотехника, 2005. 368 с.
5. Бердышев В. И. Экстремальные задачи и модели навигации по геофизическим полям. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2007. – 270 с / В. И. Бердышев, В. Б. Костоусов.
6. Сорокин А. К. Обнаружение линейных ориентиров комплексным радиолокационным измерителем / А. К. Сорокин, Н. А. Дядьков, В. Г. Важенин, В. И. Вербицкий // Люльевские чтения : материалы седьмой НТК ОАО "ОКБ "Новатор", 23-24 марта 2010 года. Челябинск: изд. ц. ЮУрГУ, 2010. С. 96.
7. Сорокин А. К. Выделение неоднородности в подстилающей поверхности с использованием доплеровской фильтрации / А. К. Сорокин, Н. А. Дядьков, В. Г. Важенин [и др.] // Радиовысотометрия – 2010 : сборник трудов Третьей Всероссийской НТК ОАО УПКБ «Деталь», 19-21 октября 2010 года. Екатеринбург: Форт Диалог-Исеть, 2010. С. 345–352.
8. Сорокин А. К. Применение спектрального анализа и доплеровской фильтрации к задаче обнаружения линейных ориентиров / А. К. Сорокин, Н. А. Дядьков, В. Г. Важенин, В. И. Вербицкий // Люльевские чтения : материалы восьмой НТК ОАО "ОКБ "Новатор", 20-22 марта 2012 года. Челябинск: изд. ц. ЮУрГУ, 2012. С. 106.